

DÉFIS ET OPPORTUNITÉS POUR LE CANADA

Transformations pour une réduction majeure des émissions de GES



PROJET TROTTIER POUR
L'AVENIR ÉNERGÉTIQUE

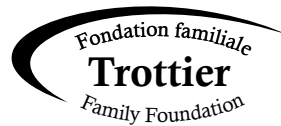
TROTTIER ENERGY
FUTURES PROJECT



Partenaires du Projet Trottier pour l'avenir énergétique

Avril 2016

Ce projet a été rendu possible grâce au généreux soutien financier de la Fondation familiale Trottier.



THE CANADIAN ACADEMY
OF ENGINEERING

*Leadership in Engineering Advice
for Canada*



L'ACADÉMIE CANADIENNE
DU GÉNIE

*Chef de file en matière d'expertise-conseil
en génie pour le Canada*

L'Académie canadienne du génie
300 - 55, rue Metcalfe
Ottawa, Ontario, K1P 6L5, Canada
Téléphone : (613) 235-9056

www.cae-acg.ca/fr



Fondation
David
Suzuki

LES SOLUTIONS SONT DANS NOTRE NATURE

Fondation David Suzuki
219 - 2211, West 4th Avenue
Vancouver, BC V6K 4S2, Canada
Téléphone : 604-732-4228
ou sans frais au 1-800-453-1533

www.davidsuzuki.ca/fr

Table des matières

Avant-propos	4
Remerciements	5
Sommaire exécutif	6
Résumé du projet	
1. Contexte et cadre d'analyse	10
2. Résultats de l'analyse des scénarios	22
3. Priorités d'action	35
4. Défis à relever	36
5. Conclusions	38

Avant-propos

Le Rapport de synthèse 2014 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) indique qu'en " ... limitant fortement les émissions [de gaz à effet de serre] au cours des prochaines décennies, on pourrait réduire les risques climatiques au XXI^e siècle et au-delà, améliorer les perspectives d'adaptation, réduire les coûts de l'atténuation sur le long terme et aplanir les difficultés afférentes, et privilégier des profils d'évolution favorisant la résilience face au changement climatique dans l'optique du développement durable ".

Le GIEC mentionne par ailleurs dans son rapport qu'il existe de nombreux profils de transformation qui permettent d'atteindre des cibles ambitieuses de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES).

La réduction significative des émissions de GES au Canada représente un défi complexe et différentes combinaisons de profils d'évolution sont possibles pour y parvenir. Afin d'explorer les pistes de solutions possibles, l'objectif visé dans le Projet Trottier pour l'avenir énergétique concerne une réduction des émissions de GES de 80 pour cent d'ici 2050 par rapport à 1990, tout en considérant une réduction de 100 pour cent ou plus d'ici la fin du siècle. L'approche privilégiée est l'analyse des systèmes, à l'aide de deux modèles complémentaires, permettant d'identifier les meilleures façons d'atteindre l'objectif de réduction des émissions issues de la combustion à moindre coût, et ce, pour plusieurs scénarios représentant différents futurs possibles. Cette

approche permet d'identifier les stratégies les moins coûteuses à mettre en place et d'initier une discussion éclairée au sujet des options de réduction des GES les plus pertinentes pour le Canada et au sujet des étapes permettant de réaliser les réductions initiales.

La prise en compte des bénéfices connexes associés à la réduction des émissions de GES, tels que l'amélioration de la santé publique, une meilleure gestion du trafic et les coûts associés au cycle de vie complet des infrastructures, permettrait de rendre encore plus attrayante la dimension économique des divers profils d'évolution étudiés. Cependant, l'évaluation économique des bénéfices indirects et des risques associés à chaque scénario dépassait la portée de ce projet.

Finalement, ce projet est le résultat d'un effort de collaboration entre trois organisations. Ces dernières peuvent avoir des opinions différentes à l'égard de certains profils d'évolution décrits dans ce rapport, mais un consensus existe quant à l'importance de publier les résultats de l'étude dans le but de stimuler un débat éclairé sur la meilleure manière d'atteindre les objectifs internationaux de réduction des GES. Il est nécessaire d'amorcer ces discussions aussi rapidement que possible afin de créer l'avenir que nous désirons.

[La Fondation familiale Trottier](#)

[L'Académie canadienne du génie](#)

[La Fondation David Suzuki](#)

Remerciements

L'initiative et le financement du Projet Trottier pour l'avenir énergétique proviennent de Lorne Trottier, par l'entremise de la Fondation familiale Trottier. Lorne Trottier est ingénieur, entrepreneur et philanthrope. Il est membre de l'Ordre du Canada et membre de l'Académie canadienne du génie. Il est fier d'être Canadien et s'est engagé, avec sa famille, à agir comme catalyseur pour le Canada en assumant un rôle de leadership dans la lutte aux changements climatiques au Canada et dans le monde.

Le projet a été conjointement parrainé par l'Académie canadienne du génie (ACG) et la Fondation David Suzuki (FDS). La direction générale du projet a été assurée par un comité dont les trois membres sont John Leggat (ACG), Peter Robinson (FDS) et Lorne Trottier.

L'équipe de projet, elle, est composée de : Oskar Sigvaldason, chargé de projet et président, SCMS Global; Kathleen Vaillancourt, présidente, ESMIA Consultants; Michael Hoffman, président, whatlf?; Mara Kerry, directrice - science et politique, FDS; Ian Bruce, coordonnateur - science et politique, FDS; et Kevin Goheen, directeur exécutif, ACG. Les autres principaux collaborateurs sont : le professeur Warren Mabee, Université Queens; le professeur émérite Robert Evans, Université de Colombie-Britannique; et Alex Boston, président, Boston Consulting. Le professeur Olivier Bahn de HEC Montréal a été impliqué comme conseiller pour ESMIA Consultants, et le professeur Patrick Condon de l'Université de Colombie-Britannique comme conseiller pour Boston Consulting. Un soutien précieux a été offert par Erik Frenette (ESMIA), Bas Straatman et Shona

Weldon (whatlf?).

Un panel de quatre experts a été constitué pour assurer la qualité du projet. Les membres de ce panel sont : le professeur André Plourde, économiste de l'énergie et doyen de la Faculté des affaires publiques, Université Carleton; John Leggat, ancien sous-ministre adjoint (sciences et technologie), Ministère de la Défense nationale; Ken Ogilvie, consultant en politiques environnementales pour les gouvernements, les entreprises et les organisations environnementales; et le professeur Miguel Anjos, chaire de recherche du Canada sur l'optimisation non linéaire discrète en ingénierie, École Polytechnique de Montréal et GERAD.

Pendant toute la durée du projet, des discussions ont eu lieu et des vérifications ont été effectuées avec des représentants des gouvernements, de l'industrie, d'organisations sans but lucratif et d'universités partout au Canada, dont l'Office national de l'énergie, Ressources naturelles Canada (y compris le Service canadien des forêts), Environnement Canada, Statistique Canada, l'Association canadienne de l'électricité, l'Association canadienne des producteurs pétroliers et Alberta Innovates - solutions énergétiques et environnementales.

Ce rapport a été révisé par l'ACG et la FDS. Pour l'ACG, la révision a été réalisée par le truchement d'une commission présidée par le professeur Douglas Ruth et constituée de Sarah Jane Snook, Eddy Isaacs et le professeur Aniruddha Gole. Pour la FDS, la révision a été réalisée par Miles Richardson et le professeur Peter Victor, membres du conseil d'administration, ainsi que par Peter Robinson et Gideon Forman.

Sommaire exécutif

Le Projet Trottier pour l'avenir énergétique représente une analyse globale et quantitative de l'ingénierie des systèmes énergétiques futurs du Canada, avec un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de 80 pour cent d'ici 2050, par rapport à 1990.

L'étude a été réalisée à l'aide de deux modèles quantitatifs détaillés pour quantifier les émissions issues de la combustion et calibrés à partir de données historiques.

Les modèles ont été utilisés pour projeter les émissions canadiennes de GES issues de la combustion à l'horizon 2050 en fonction d'une variété de scénarios, ainsi que d'un ensemble défini de technologies énergétiques pour chaque scénario. Les modèles ont également permis de calculer le « coût marginal » associé aux transformations du système énergétique dans le temps selon chaque scénario, soit le prix du carbone équivalent à chaque période temporelle.

Pour la plupart des scénarios, l'analyse ne tient compte que des technologies actuellement déployées à grande échelle, ainsi que du potentiel d'amélioration de leur performance et de la diminution de leur coût à long terme. De plus, l'analyse prend en compte le concept du système centralisé pour la production et la distribution d'électricité, similaire au paradigme dominant aujourd'hui.

Plusieurs autres technologies émergentes, mais non disponibles à l'échelle commerciale, pourraient apporter une contribution supplémen-

taire à la problématique de la réduction des émissions de GES, mais elles n'ont pas été considérées en raison de données insuffisantes.

La pertinence de ce projet est qu'il présente un aperçu de ce qu'il est possible de réaliser avec les technologies actuellement connues. Malgré le fait que la précision des trajectoires d'émissions soit limitée par l'exactitude des modèles et des hypothèses sous-jacentes, il demeure néanmoins que l'approche analytique par scénario a permis de produire des résultats robustes et d'identifier les meilleurs profils d'évolution, ainsi que les options les plus prometteuses pour réduire les émissions de GES au Canada.

Principaux résultats

Le scénario de réduction le plus ambitieux est celui où la demande mondiale pour les combustibles fossiles à long terme est la plus faible et, conséquemment, où la production et les exportations depuis le Canada sont également les plus faibles. Ce scénario implique une réduction des émissions de GES issues de la combustion d'énergie de 70 pour cent, soit de 425 millions de tonnes (Mt) en 1990 à 128 Mt en 2050. Les résultats montrent une augmentation très importante de l'utilisation d'électricité, de biomasse et de biocarburants.

Ce scénario repose sur la contribution des technologies éprouvées, telles que les centrales conventionnelles pour la production d'électricité hydroélectrique, nucléaire et éolienne, mais également sur la disponibilité de nouvelles technologies encore non

déployées à l'échelle commerciale, comme la production de biocarburants de deuxième génération, les centrales thermiques au charbon avec capture et stockage du carbone, et les centrales alimentées aux bioénergies avec capture et stockage de carbone. Une autre hypothèse sous-jacente concerne l'existence d'un potentiel de trente gigawatts d'électricité en Colombie-Britannique pouvant être exploité rapidement à l'aide de grandes centrales hydroélectriques. Des réductions d'émissions significatives sont observées dans les cinq secteurs de consommation finale et la production d'électricité est rapidement décarbonisée (en 2030). En 2050, les trois secteurs qui produisent encore une importante quantité d'émissions sont les transports, les industries et la production de combustibles fossiles.

Une évaluation qualitative a été effectuée afin de déterminer le potentiel de réduction des émissions de GES non issues de la combustion. Selon le scénario le plus ambitieux combinant les émissions issues et non issues de la combustion, les émissions totales de GES devraient atteindre 360 Mt en 2050, ce qui est supérieur à l'objectif de 118 Mt. Des émissions nettes négatives pourraient donc être nécessaires pour combler l'écart.

L'adoption d'importantes mesures de conservation d'énergie et d'efficacité énergétique représente des opportunités de réduction significative des émissions de GES à faible coût (et parfois même à coût négatif). Par exemple, les mesures de conservation d'énergie permettent de réduire une importante proportion de la demande future pour le chauffage de l'espace dans le

secteur commercial – jusqu'à 60 pour cent en 2050 selon le scénario (et jusqu'à 40 pour cent dans le secteur résidentiel).

Le travail de modélisation a permis de déterminer le coût marginal de réduction par tonne de CO₂-équivalent en fonction des limites imposées sur les émissions de GES. Ces coûts dépendent évidemment du scénario analysé, mais excèdent habituellement 100 \$ par tonne de CO₂-équivalent dès les premières années pour atteindre plusieurs centaines de dollars par tonne (dollars canadiens de 2011) à plus long terme.

Priorités d'action

Le projet met en évidence les changements qui seront nécessaires du point de vue des infrastructures énergétiques actuelles et futures pour réaliser des réductions d'émissions significatives au Canada. Des profils d'évolution prometteurs pour un avenir faible en carbone sont identifiés. Alors que de nouvelles technologies et d'autres innovations pourront éventuellement permettre d'envisager de nouvelles pistes ou des coûts de réduction plus faibles, les résultats indiquent déjà que des progrès substantiels peuvent être réalisés d'ici 2030 pour réduire les émissions de GES. Les domaines d'intervention clés sont : l'augmentation significative de la production d'électricité, de la biomasse et des biocarburants pour remplacer les combustibles fossiles dans les cinq secteurs de consommation finale, la décarbonisation de la production d'électricité par l'utilisation de sources non émettrices, l'augmentation des échanges d'électricité entre les provinces et les territoires et la mise en œuvre d'un programme global de conservation d'énergie et d'efficac-

ité énergétique. Puisque plusieurs provinces canadiennes, ainsi que le gouvernement fédéral, se sont déjà engagés à mettre en œuvre une politique de tarification du carbone, il est possible qu'une stratégie nationale sur le climat, avec des règlements et des incitatifs au développement de technologies innovantes et aux initiatives de réduction des GES, s'avère déjà à portée de main.

Défis à relever

Un certain nombre de défis fondamentaux sont apparus évidents pendant la réalisation du projet. Si ces défis ne sont pas relevés, il sera particulièrement difficile de parvenir à des réductions significatives des émissions de GES. Des efforts de recherche et d'évaluation, ainsi que des progrès, sont donc nécessaires dans les domaines suivants:

- Le développement et le déploiement des biocarburants de deuxième génération, en particulier pour leur utilisation dans le secteur du transport des marchandises par camions lourds et par trains.
- Une analyse plus approfondie des options de réduction des émissions de GES issues et non issues de la combustion de combustibles fossiles dans le secteur industriel.
- Un programme complet de collecte et d'analyse des données pour évaluer l'ampleur réelle du problème des émissions fugitives et identifier des mesures d'atténuation.
- Un programme de recherche accéléré sur les moyens de réduire les émissions de GES provenant de la production de pétrole et de gaz naturel, de la valorisation et du raffinage, y compris les options de remplacement des combustibles fossiles pour les besoins énergétiques et les changements de procédés.
- La poursuite des travaux pour évaluer dans quelle mesure une meilleure planification urbaine pourrait réduire les coûts globaux associés aux infrastructures et aux émissions de GES correspondantes. Des travaux sont également nécessaires pour évaluer les approches de réduction des GES les plus prometteuses en milieu urbain, telles que le transport en commun, la cogénération, la production d'électricité décentralisée, le chauffage urbain, la production d'énergie à partir de déchets et le stockage d'énergie à l'échelle locale.
- La recherche sur les moyens d'atteindre des émissions nettes négatives de GES, dont la production d'électricité à partir de biomasse avec capture et stockage du carbone, l'utilisation accrue des produits forestiers pour la rétention du carbone dans les bâtiments et la séquestration du carbone grâce au boisement et au reboisement.
- La réalisation de consultations avec les décideurs, les communautés et les Premières Nations pour discuter des profils d'évolution privilégiés.

Conclusions

Le projet présente une analyse novatrice et rigoureuse du potentiel existant pour atteindre des cibles ambitieuses de réduction des émissions canadiennes de GES. L'analyse a permis d'identifier des options de réduction prometteuses et réalisables pour le Canada, ainsi que des profils d'évolution à faibles émissions de GES. Les profils d'évolution à faibles émissions de GES les plus prometteurs et réalisables pour le Canada, ainsi que les options de réduction les moins coûteuses pour atteindre les objectifs, ont pu être identifiés. Les profils d'évolution menant aux réductions les plus ambitieuses sont complexes et impliquent d'importantes mesures de conservation d'énergie et d'efficacité énergétique, une restructuration majeure des infrastructures énergétiques, le déploiement de technologies prometteuses, mais pas encore disponibles à l'échelle commerciale, ainsi que des changements fondamentaux dans la manière dont les gens pensent et consomment l'énergie.

Les différentes options qui doivent être mises en œuvre pour réduire considérablement les émissions de GES (augmentation de la production d'électricité à partir de sources intermittentes, décarbonisation de l'approvisionnement en électricité et augmentation de l'utilisation de la biomasse et des biocarburants) nécessitent que des développements importants aient lieu d'ici 2050 et cela représente un défi énorme.

Les résultats du projet jettent un doute considérable sur la disponibilité des technologies et des infrastructures connexes au moment opportun. Le plus grand défi n'est cependant

pas d'ordre technique ou même économique, mais davantage politique et social/culturel. La réalisation de réductions d'émissions ambitieuses aura un impact sur tous les Canadiens et implique nécessairement des changements dans les modes de vie. Les résultats pointent aussi vers la nécessité de mettre en œuvre une politique de tarification du carbone et d'une réglementation connexe. Les transformations sociales nécessaires à la réduction des émissions de GES de 80 pour cent et plus devront être soutenues par un leadership de tous les secteurs de la société. De plus, les Canadiens devront développer une vision globale et partagée des systèmes énergétiques et des modes de vie à faibles émissions de carbone.

Les résultats de cette analyse peuvent servir de fondement à un dialogue national sur les stratégies nécessaires pour atteindre des cibles ambitieuses de réduction d'émissions de GES. Notre avenir sera façonné par les choix que nous faisons aujourd'hui au sujet de l'utilisation de l'énergie et de la réduction des émissions de GES.

Une discussion transparente peut ainsi mener à des progrès significatifs en ce sens et renforcer l'idée que les divers acteurs du Canada puissent travailler en harmonie à l'échelle nationale et avec les autres nations pour rétablir la santé et la résilience du système climatique planétaire.

Résumé du projet

1. Contexte et cadre d'analyse

1.1 Objectifs du projet

Le principal objectif de ce projet est d'évaluer les options et les profils d'évolution permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) au Canada de 80 pour cent d'ici 2050, par rapport à 1990. Les émissions totales de GES étant de 589 millions de tonnes (Mt) en 1990, cela se traduit par un objectif de 118 Mt en 2050.

Tel qu'indiqué dans le cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), l'objectif mondial à long terme est de parvenir à stabiliser les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère (actuellement juste au-dessus de 400 parties par million) à environ 450 ppm « pour éviter une augmentation de la température qui dépasse 2 degrés Celsius au-dessus des niveaux préindustriels. » Pour y arriver, il faudra que les émissions mondiales nettes soient réduites à zéro (ou même qu'elles soient inférieures à zéro) d'ici 2100. La nécessité d'agir revendiquée par le GIEC a été approuvée par la Déclaration des dirigeants au Sommet du G7, en juin 2015.

Ce projet constitue une analyse globale et quantitative de l'ingénierie des systèmes énergétiques futurs du Canada pour atteindre un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de 80 pour cent d'ici 2050, par rapport à 1990. L'étude a été réalisée à l'aide de deux modèles quantitatifs détaillés pour quantifier les émissions issues de la combustion

et calibrés à partir de données historiques. Les modèles ont été utilisés de manière complémentaire (c.-à-d. que certains extrants d'un modèle ont servi à alimenter l'autre modèle et vice versa) et les résultats respectifs de chacun des modèles ont servi à contrevérifier ceux de l'autre modèle. Cette approche a permis d'accroître à la fois la portée et la robustesse des résultats.

Les modèles ont été utilisés pour projeter les émissions canadiennes de GES issues de la combustion à l'horizon 2050 en fonction d'une variété de scénarios, ainsi que d'un ensemble défini de technologies énergétiques pour chaque scénario. Les modèles ont également permis de calculer le « coût marginal » associé aux transformations du système énergétique dans le temps selon chaque scénario, soit le prix du carbone équivalent à chaque période temporelle.

Pour la plupart des scénarios, l'analyse ne tient compte que des technologies actuellement déployées à grande échelle, ainsi que du potentiel d'amélioration de leur performance et de la diminution de leur coût à long terme. En raison de contraintes de temps et de données, l'analyse prend en compte le concept du système centralisé pour la production et la distribution d'électricité, similaire au paradigme dominant aujourd'hui. Pour les mêmes raisons, seulement quelques options ont été évaluées concernant les nouvelles formes possibles de développement urbain.

De nombreuses autres technologies émergentes, mais non disponibles à l'échelle commerciale actuellement, n'ont pas été considérées en raison de données insuffisantes. Des exemples de ces

nouvelles options comprennent le potentiel d'augmentation de la capacité hydroélectrique aux sites existants, les formes les plus avancées de batteries, les options de stockage à air comprimé et thermique, les combustibles issus de poudre de métal recyclable, les biocarburants provenant de la bio-ingénierie, etc.

La pertinence de ce projet initial est qu'il propose un aperçu de ce qu'il est possible de réaliser avec les technologies actuellement connues. Malgré le fait que la précision des trajectoires d'émissions soit limitée par l'exactitude des modèles et des hypothèses sous-jacentes, il demeure néanmoins que l'approche analytique par scénario a permis de produire des résultats robustes et d'identifier les meilleurs profils d'évolution, ainsi que les options les plus prometteuses pour réduire les émissions de GES au Canada.

1.2 Émissions de GES au Canada

La répartition des émissions de GES pour 1990 et 2010, telle qu'indiquée dans les rapports d'inventaire national du Canada, est présentée dans les figures 1 et 2. Les émissions proviennent de la combustion de combustibles fossiles et d'autres sources. Leurs proportions relatives étaient respectivement de 72 pour cent et 28 pour cent en 1990 et en 2010 (il n'y a pas eu de changements significatifs quant à leurs proportions par rapport aux émissions totales).

Émissions issues de la combustion de combustibles fossiles

Les émissions de GES provenant de la combustion de combustibles fossiles sont attribuables à trois principaux usages : la demande d'énergie dans les secteurs de consommation finale (résidentiel, commercial, industriel, transport et agriculture), la production d'électricité (principalement à partir de charbon et de gaz naturel), laquelle sert également à satisfaire la demande domestique finale, ainsi que la production et le transport du charbon, du pétrole et du gaz naturel pour les marchés d'exportation.

Pour les fins de consommation domestique en 2010, 74 pour cent de l'énergie provenait directement de combustibles fossiles et de leurs dérivés, 22 pour cent de l'électricité, et quatre pour cent de la biomasse et des biocarburants. Pour les 74 pour cent d'énergie fossile, environ 85 pour cent des émissions provenaient des secteurs de consommation (par exemple, l'utilisation du gaz naturel pour le chauffage, la combustion d'essence dans les voitures) alors que 15 pour cent provenaient des secteurs de production (extraction, collecte, valorisation, raffinage, transport, et distribution de combustibles fossiles pour les utilisateurs finaux).

En 2010, les émissions issues de la combustion de combustibles fossiles ont totalisé 503 Mt, soit 72 pour cent des émissions totales de GES, tel qu'indiqué ci-haut. Ce total comprenait 369 Mt (soit 73 pour cent des émissions issues de la combustion) associées directement à la satisfaction de la demande dans les secteurs de consommation finale, 101 Mt (20 pour cent des émissions issues de la combustion) à la production d'électricité et 33 Mt (sept pour cent des émissions issues de la combustion) à la

production et au transport de pétrole, gaz naturel et charbon destinés aux marchés d'exportation.

Émissions non issues de la combustion de combustibles fossiles

Les émissions non issues de la combustion (dont la répartition est illustrée séparément dans les figures 1 et 2) proviennent de quatre sources : les procédés industriels, les sources fugitives, l'agriculture et les déchets.

- Les émissions des procédés industriels (huit pour cent des émissions totales de GES au Canada) proviennent principalement des procédés chimiques qui émettent des GES comme sous-produits. Au Canada, ces émissions proviennent principalement des industries du ciment, du fer et de l'acier, de l'aluminium, des produits chimiques et pétrochimiques, des services publics d'électricité, ainsi que de l'industrie des semi-conducteurs.
- Les émissions de sources fugitives (neuf pour cent) proviennent de la libération intentionnelle ou non de GES provenant de la production, la transformation, le stockage et la distribution des combustibles fossiles. Les émissions de sources fugitives comprennent en particulier les émissions de GES issues de l'évacuation et du torchage dans les installations de production et de traitement de gaz naturel et de pétrole.
- Les émissions du secteur de l'agriculture (huit pour cent) proviennent de la fermentation

entérique, soit le méthane généré par le système digestif des animaux, et de la gestion du fumier, ce qui entraîne des émissions de GES provenant des déchets animaux. En outre, les sols agricoles émettent de l'oxyde nitreux résultant de l'application d'engrais à base d'azote et de résidus de culture en décomposition.

- Les émissions du secteur des déchets (trois pour cent), proviennent principalement de la disposition des déchets solides sur les terres, le traitement des eaux usées et l'incinération des déchets. Le type dominant d'émissions est le méthane des sites d'enfouissement municipaux.

1.3 Approche et prémisses

L'objectif du projet vise principalement la réduction des émissions de GES issues de la combustion de combustibles fossiles.

Les principales options pour réduire les émissions issues de la combustion sont :

- La conservation d'énergie et l'efficacité énergétique.
- La diminution de l'utilisation de combustibles fossiles au profit d'une utilisation accrue d'électricité et de biomasse/biocarburant.
- La décarbonisation de la production d'électricité à l'aide de sources non émettrices de GES, dont l'énergie hydroélectrique, nucléaire, éolienne, solaire, géothermique, la biomasse

et les biocarburants, ainsi que l'utilisation de combustibles fossiles avec captage, utilisation et stockage du carbone (CUSC).

- La mise en œuvre de changements de processus permettant de réduire la consommation de combustibles fossiles, principalement dans le secteur industriel, ainsi que pour la production, la valorisation et le raffinage des combustibles fossiles.

L'approche globale du projet comporte trois principaux groupes d'activités :

- i. L'application de deux **modèles mathématiques** complémentaires constituant une base analytique rigoureuse pour déterminer les solutions les moins coûteuses pour atteindre les cibles de réduction, et ce, selon 11 scénarios distincts.
- ii. La réalisation d'une évaluation complète des **options de transformation** et de leurs coûts pour réduire progressivement les émissions, dans chaque secteur et dans chaque juridiction du Canada.
- iii. L'analyse de 11 **scénarios de réduction** des émissions de GES.

Cette approche a donné lieu à des observations pertinentes, lesquelles fournissent des perspectives intéressantes sur le défi considérable qu'est la réduction des émissions de GES au Canada (section 2), sur la définition des priorités d'actions immédiates (section 3), et sur la sélection des domaines prioritaires pour les besoins de recherche et d'évaluation (section 4).

Modèles mathématiques

Deux modèles ont été utilisés dans le cadre du projet pour analyser les scénarios futurs de réduction et identifier des stratégies de transformation et d'investissements permettant d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES issues de la combustion au Canada :

- Le modèle NATEM (The North American TIMES Energy Model) – un modèle d'optimisation élaboré et maintenu par ESMIA Consultants. NATEM comprend notamment un module canadien détaillé qui fait partie de la famille des modèles de type MARKAL/TIMES, soutenu par l'Agence internationale de l'énergie.
- Le modèle CanESS (Canadian Energy System Simulation) – un modèle de simulation élaboré et maintenu par whatIf? Technologies.

Les deux modèles ont été utilisés de manière conjointe et indépendante pour le projet. Ils ont permis de mieux comprendre le comportement des systèmes énergétiques du Canada en fonction de différents contextes. Le modèle NATEM a été utilisé pour générer la majeure partie des résultats de l'analyse des scénarios, alors que le modèle CanESS a été utilisé pour générer les projections économiques et socio-économiques pour le Canada, soutenir la définition des systèmes énergétiques, valider les paramètres de l'analyse et effectuer des tests de vérification pour assurer que les résultats soient cohérents et crédibles.

Émissions de GES au Canada (1990)

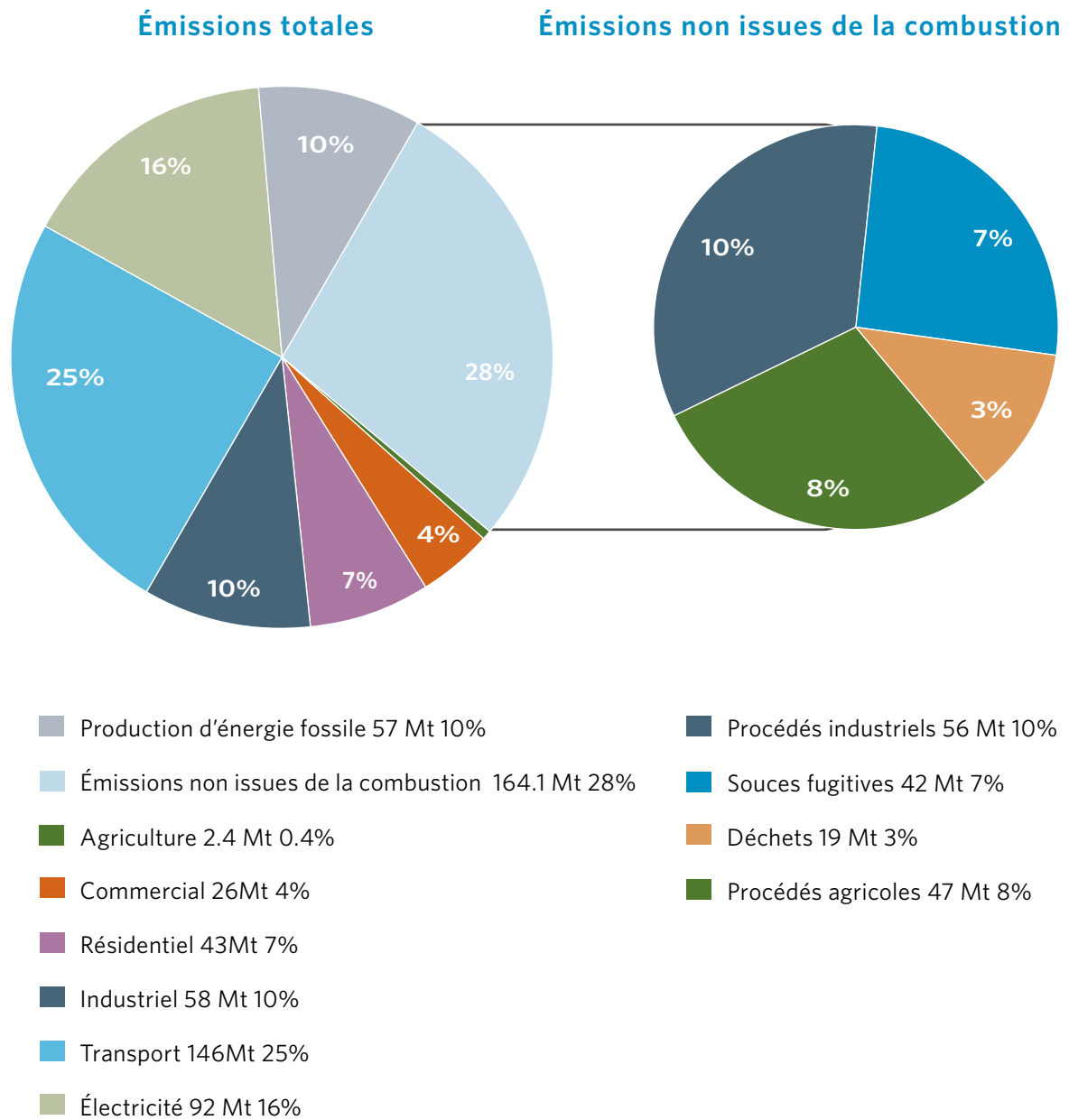


Figure 1. Émissions de GES au Canada (1990) : 589 Mt

Émissions de GES au Canada (2010)

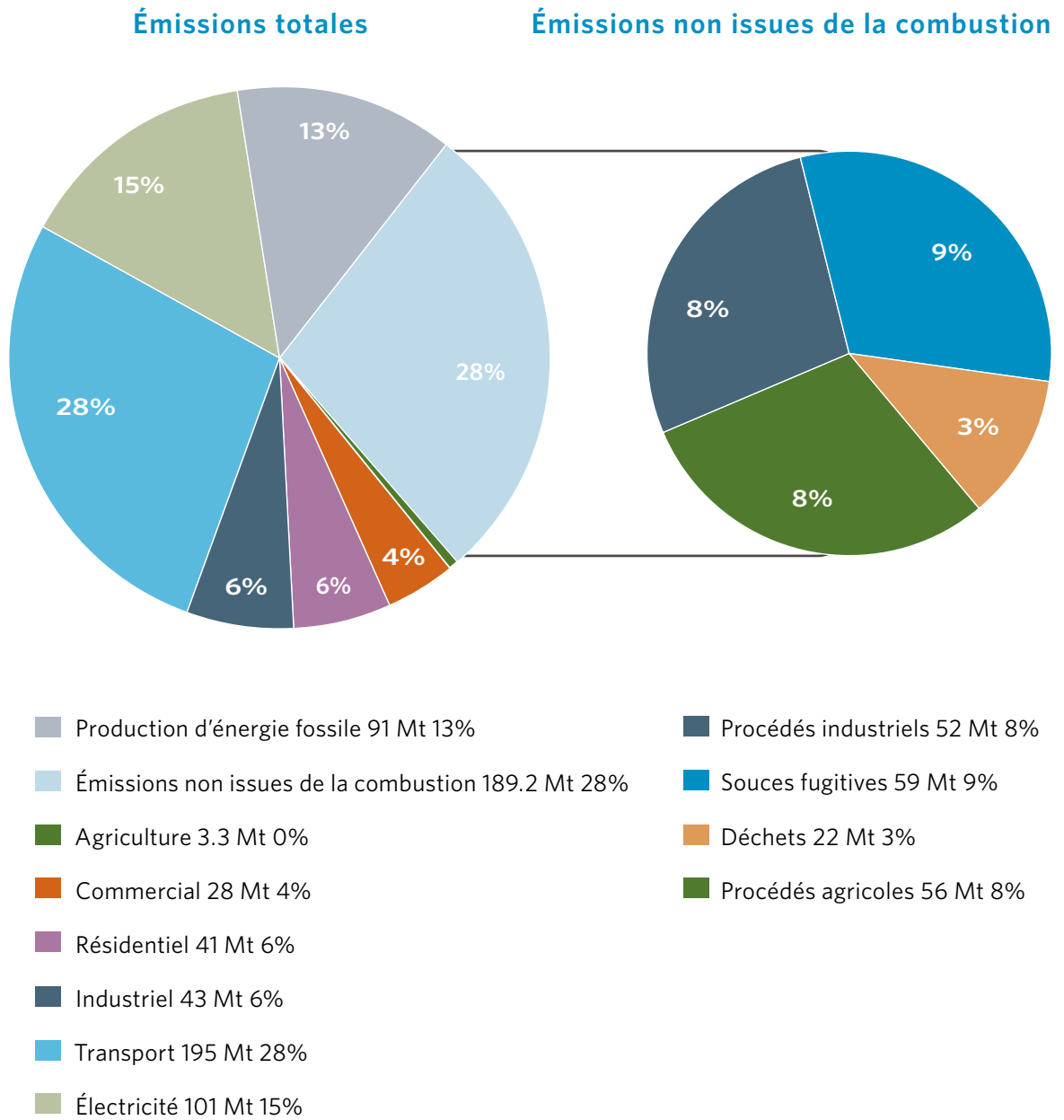


Figure 2. Émissions de GES au Canada (2010) : 692 Mt

Dans le modèle NATEM, le Canada est représenté par ses treize juridictions provinciales et territoriales, lesquelles sont interreliées par l'entremise de flux d'énergie et de matériaux. L'analyse a été réalisée sur neuf périodes temporelles, allant de 2011 à 2050. Le modèle représente l'ensemble du système énergétique intégré pour chaque juridiction, y compris l'extraction, la collecte, le traitement, le transport, la distribution, l'utilisation finale et le commerce des produits énergétiques. Des options de transformation sont définies, avec leurs coûts de réduction respectifs, pour chaque secteur contribuant aux émissions issues de la combustion. Les demandes finales sont exprimées en termes de besoins (par exemple, la demande exprimée en véhicules-kilomètres dans le secteur des transports) sur un horizon temporel futur. Les profils de réduction des émissions sont prescrits à l'horizon 2050. Le modèle détermine systématiquement, parmi toutes les options de réduction possibles, la combinaison optimale permettant de satisfaire l'évolution de la demande dans le temps, tout en respectant la contrainte de réduction des émissions, et ce, au « coût global minimum ». Le coût global minimum est défini comme étant « le coût minimum actualisé du système énergétique canadien », lequel est évalué en actualisant les futurs coûts d'investissement et d'exploitation en dollars équivalents de 2011.

La représentation de l'ensemble du Canada et du système énergétique de chaque juridiction est similaire dans le modèle CanESS. Le modèle calcule la réponse des systèmes sur une base annuelle pour certaines combinaisons prescrites de demandes d'énergie finale et de réductions d'émissions.

Le modèle CanESS a été calibré avec les données historiques du Système canadien d'information socioéconomique (CANSIM) pour la période de 1978 à 2010. À partir de ces informations, ainsi que les projections de l'Office national de l'énergie (ONÉ) et de Statistique Canada, le modèle a été utilisé pour projeter la croissance de la population, le produit intérieur brut (PIB) par habitant, le PIB total et la production industrielle à l'horizon 2050.

Le modèle CanESS a également été utilisé pour définir certains intrants importants du modèle NATEM, notamment :

- La représentation de la répartition optimale (ordre de mérite) pour l'approvisionnement en électricité selon différentes combinaisons, incluant les grands barrages hydroélectriques, les centrales au fil de l'eau, les centrales nucléaires, les centrales thermiques alimentées au charbon et gaz naturel, les énergies renouvelables intermittentes (éolien, solaire), le stockage par pompage et les systèmes d'interconnexions.
- L'évaluation des « facteurs de capacité » actuels pour la production d'énergie éolienne dans les diverses juridictions à travers le Canada et leur amélioration potentielle en lien avec la conception des technologies et les sites d'implantation.
- L'évaluation des « facteurs de capacité » futurs pour la production d'énergie solaire à grande échelle et l'alimentation des réseaux dans les diverses juridictions à travers le Canada.

- La définition des intrants pour les nouvelles demandes d'utilisation finale résultant de l'amélioration des « formes urbaines » (par exemple, avec la modification des modes de développement urbain, la densification urbaine, l'augmentation du transport public).
- L'évaluation à l'échelle nationale des opportunités et des limites de transformation pour accroître la production de biomasse et de biocarburants, et remplacer les combustibles fossiles.

En plus des développements propres au modèle CanESS et ensuite utilisés dans le modèle NATEM, deux représentations supplémentaires ont été incorporées directement dans le modèle NATEM :

- Capacité de base fiable – pour assurer que la contribution de chaque catégorie de centrales électriques, en termes de capacité totale, soit égale ou supérieure à la demande en période de pointe. Cela s'applique notamment aux sources renouvelables intermittentes, comme l'énergie éolienne, solaire et hydroélectrique au fil de l'eau.
- Coûts de développement différentiel du réseau électrique – pour assurer que les réseaux de transport à haute tension soient développés parallèlement aux changements survenant dans la composition de l'approvisionnement en électricité, en particulier pour les sources d'énergie renouvelables intermittentes, lesquelles nécessitent une plus grande augmentation des investissements dans les réseaux.

De nombreux tests ont été effectués et une

importante phase de calibrage des deux modèles a eu lieu avant leur utilisation pour l'analyse des scénarios.

Options de transformation et coûts correspondants

L'approche utilisée pour l'analyse des scénarios permettait de s'assurer que les diverses options de transformation pour la réduction des émissions soient documentées à partir des meilleures sources d'informations disponibles. L'étude repose sur l'hypothèse que le niveau de vie augmentera et que la production industrielle doublera d'ici 2050 au Canada.

Pour chacun des secteurs de consommation finale, l'analyse a permis d'évaluer diverses combinaisons options permettant de répondre simultanément à la croissance de la demande et à la nécessité de réduire les émissions issues de la combustion. Ces options incluaient notamment la conservation d'énergie, l'efficacité énergétique, ainsi que diverses options de transformation des systèmes énergétiques, tant pour la construction de nouvelles infrastructures que pour la modernisation des infrastructures existantes. Les coûts comprennent les coûts d'investissements ainsi que les coûts d'exploitation.

Une approche similaire a été utilisée pour définir les options de transformation et leurs coûts dans les secteurs de production d'énergie, soit pour la chaîne complète d'approvisionnement depuis l'extraction des sources primaires jusqu'aux points de distribution. Plusieurs documents de travail ont été préparés à cet effet sur la

chaîne d'approvisionnement en électricité, les combustibles fossiles, les sables bitumineux, la capture et le stockage du carbone, le transport des combustibles fossiles, la biomasse et les biocarburants.

La définition de meilleures formes de développement urbain comme options de réduction des émissions a bénéficié d'une attention spéciale. Cette analyse visait la définition d'une vision à long terme pour la transformation des régions urbaines au Canada et l'évaluation des possibilités de réduction des émissions d'ici 2050.

Les coûts utilisés dans le modèle NATEM proviennent des meilleures sources d'informations disponibles au Canada et ailleurs, incluant l'Office national de l'énergie du Canada, l'Association canadienne d'électricité, l'Energy Information Administration (EIA) et le National Renewable Energy Laboratory (NREL) du Département américain de l'énergie, et l'Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) de l'Agence internationale de l'énergie. Dans certains cas, les estimations de coûts ont été revues et modifiées en collaboration avec divers experts pour tenir compte des situations particulières au Canada, telles que l'augmentation des coûts dans les régions éloignées.

Les options de transformation, dont les technologies non encore disponibles à l'échelle commerciale, ont été choisies en fonction de la meilleure information disponible. La règle générale étant de conserver une approche « conservatrice » dans l'estimation des performances et des coûts associés à ces options.

Le temps nécessaire à la construction et à la mise en service des infrastructures et des installations a été considéré dans l'analyse, mais pas le temps nécessaire à l'obtention de toutes les autorisations requises pour procéder au développement à proprement parler, soit les contraintes économiques, socio-économiques, environnementales, juridiques et politiques, ainsi que la prise en compte des considérations des Premières Nations. La prémisse étant que les projets d'infrastructure pouvaient être sélectionnés par le modèle pour faire partie de la solution optimale dès qu'ils doivent être en service. Cela correspond à l'hypothèse implicite que toutes les approbations sont en place à ce moment-là.

Une analyse moins rigoureuse a été réalisée pour les émissions non issues de la combustion, lesquelles représentaient 28 pour cent des émissions de GES au Canada en 2010, étant donné la disponibilité limitée des données et autres lacunes au chapitre de l'information. Une revue de la littérature et des consultations avec des experts ont permis d'estimer les réductions potentielles d'émissions de GES pour ces sources.

Analyse des scénarios de réduction d'émissions

Onze scénarios distincts ont été analysés à l'aide des modèles. Huit d'entre eux sont basés sur des projections élevées de production et d'exportation de combustibles fossiles, alors que les trois autres scénarios sont basés sur des projections plus faibles de la demande mondiale pour les énergies fossiles du Canada, soit une réduction proportionnelle à la demande

domestique résultant d'une action mondiale concertée pour réduire les émissions de GES. Le premier scénario est un scénario de référence, selon lequel le Canada n'adopte pas de mesures supplémentaires visant à réduire les émissions de GES. Les dix autres scénarios (sauf le scénario 1a) intègrent des objectifs de réduction de GES pour 2050, allant de 30 pour cent à 60 pour cent (et 70 pour cent dans un scénario). Parmi les scénarios impliquant une production élevée de combustibles fossiles, sept permettent d'explorer diverses options de réduction des émissions de GES à partir des technologies éprouvées et en ajoutant des technologies prometteuses, mais non disponibles à l'échelle commerciale, tels que les biocarburants de deuxième génération ainsi que la capture, l'utilisation et le stockage du carbone. Un de ces scénarios suppose qu'aucune nouvelle centrale de production d'énergie nucléaire n'est construite au-delà des réfections déjà prévues. Six des sept scénarios supposent qu'il n'existe pas de barrière au commerce d'électricité entre les 10 provinces et trois territoires. Les trois scénarios impliquant une production plus faible de combustibles fossiles supposent que les exportations de combustibles fossiles diminueront, afin de refléter certaines des implications, pour le Canada, de la mise en place de mesures de réduction importantes par d'autres pays.

2. Résultats de l'analyse des scénarios

Les résultats du scénario de référence, projetés à l'horizon 2050, sont présentés à la figure 3. Ces résultats peuvent être comparés avec ceux de 1990 et 2010, tels qu'illustrés aux figures 1 et 2.

Scénario de référence

Les projections du scénario de référence pour 2050 indiquent une croissance continue de la demande d'énergie dans tous les secteurs, mais sans changements significatifs dans le rôle respectif des combustibles fossiles, de l'électricité, de la biomasse et des biocarburants pour satisfaire les besoins énergétiques. Des changements importants sont observés dans le secteur du transport des passagers et des marchandises, puisque la consommation d'énergie nécessaire au transport des passagers diminue en raison du resserrement des normes moyennes d'économies de carburant (Corporate Average Fuel Economy - CAFE), alors que la croissance rapide du transport des marchandises provoque une augmentation importante de la consommation de diesel. À l'échelle mondiale, les émissions de GES augmentent de 692 Mt en 2010 à 1 109 Mt en 2050 et proviennent principalement du transport, des industries et de la production de combustibles fossiles. Les émissions non issues de la combustion augmentent de 28 pour cent à 32 pour cent des émissions totales de GES (soit de 189 à 354 Mt), principalement en raison de l'augmentation des émissions fugitives provenant de l'accroissement de la production de combustibles fossiles.

Résultats à plus long terme

Les conclusions issues de l'analyse des résultats des modèles sont présentées aux figures 4, 5 et 6. Ces résultats correspondent au scénario ayant la plus importante cible de réduction des émissions de GES (c.-à-d. le scénario 8a). Pour ce scénario, la réduction des émissions issues de la combustion est de 70 pour cent, soit de 425 millions de tonnes (Mt) en 1990 et passe à 128 Mt en 2050. Cela correspond à une réduction de 83 pour cent par rapport aux émissions du scénario de référence pour 2050, lesquelles atteignent 755 Mt (voir la figure 3). La réduction des émissions est possible grâce à une diminution significative de l'utilisation des combustibles fossiles et, par conséquent, à une augmentation importante de la consommation d'électricité et de biomasse et des biocarburants.

Le scénario 8a suppose une demande mondiale plus faible pour les combustibles fossiles, et donc, des niveaux plus faibles de production et d'exportation de combustibles fossiles au Canada. Ce scénario repose sur la contribution des technologies éprouvées telles que les centrales conventionnelles pour la production d'électricité hydroélectrique, nucléaire et éolienne, mais également sur la disponibilité de nouvelles technologies encore non déployées à l'échelle commerciale, comme la production de biocarburants de deuxième génération, les centrales thermiques au charbon avec capture et stockage du carbone et les centrales alimentées aux bioénergies avec capture et stockage de carbone. Une autre hypothèse sous-jacente concerne l'existence d'un potentiel de 30 gigawatts d'électricité en Colombie-Britannique pouvant être exploités rapidement à l'aide de grandes centrales hydroélectriques.

La description sommaire des onze scénarios (dont plusieurs correspondent à un ensemble de scénarios avec des cibles de réduction croissantes) est la suivante :

-
- **Scénario 1 :** scénario de référence (ou de base) sans cible de réduction des émissions de GES.
-
- **Scénario 1a :** scénario de référence modifié, sans cible de réduction des émissions de GES, mais incluant la possibilité d'une production plus faible (c.-à-d. réduite) de combustibles fossiles et des exportations.
-
- **Scénario 2 :** scénario avec cibles de réduction des émissions de GES (30 pour cent à 60 pour cent d'ici 2050), sans possibilité d'ajouter de nouvelles interconnexions à haute tension entre les juridictions.
-
- **Scénario 3 :** scénario avec cibles de réduction des émissions de GES (30 pour cent à 60 pour cent d'ici 2050), avec la possibilité d'ajouter des interconnexions à haute tension entre les juridictions.
-
- **Scénario 3a :** scénario avec cibles de réduction des émissions de GES (30 pour cent à 60 pour cent d'ici 2050), incluant la possibilité d'une production plus faible de combustibles fossiles et des exportations, et la possibilité d'ajouter de nouvelles interconnexions à haute tension entre les juridictions.
-
- **Scénario 4 :** scénario 3 modifié, incluant l'amélioration des formes de développement urbain.
-
- **Scénario 5 :** scénario 3 modifié, incluant les biocarburants de deuxième génération et les options de capture, utilisation et stockage du carbone (CUSC).
-
- **Scénario 6 :** scénario 3 modifié, incluant des exportations d'électricité supplémentaires aux États-Unis.
-
- **Scénario 7 :** scénario 3 modifié, excluant toute nouvelle centrale nucléaire (au-delà des réfections déjà prévues)
-
- **Scénario 8 :** scénario 5 modifié, incluant les options de bioénergie avec CSC (bio-CSC), la production de carburant biojet et le retrait du moratoire sur la construction de nouvelles grandes centrales hydroélectriques en Colombie-Britannique.
-
- **Scénario 8a :** scénario 8 modifié (30 pour cent à 70 pour cent de réduction), incluant la possibilité d'une production plus faible (c.-à-d. réduite) de combustibles fossiles et des exportations.
-

Onze scénarios (S1-S8 et S1a, S3a, S8a)

Prémises incluses dans les scénarios	Production/exportation élevée de combustibles fossiles								Production/exportation faible de combustibles fossiles		
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S1a	S3a	S8a
Sans cible de réduction des émissions de GES	X								X		
Avec cibles de réduction des émissions de GES		X	X	X	X	X	X	X		X	X
Aucune nouvelle interconnexion à haute tension	X	X							X		
Ajout de nouvelles interconnexions à haute tension			X	X	X	X	X	X		X	X
Nouvelles formes de développement urbain				X							
Ajout des biocarburants de deuxième génération					X			X			X
Ajout de la capture, utilisation et stockage du carbone (CUSC)					X			X			X
Augmentation des exportations d'électricité aux États-Unis						X					
Ajout de nouvelles centrales nucléaires	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Sans nouvelle centrale nucléaire (autre que les réfections prévues)							X				
Ajout de la production de carburant biojet								X			X
Ajout des bioénergies avec CSC (bio-CSC)								X			X
Ajout de nouvelles grandes centrales hydroélectriques en C.-B.								X			X

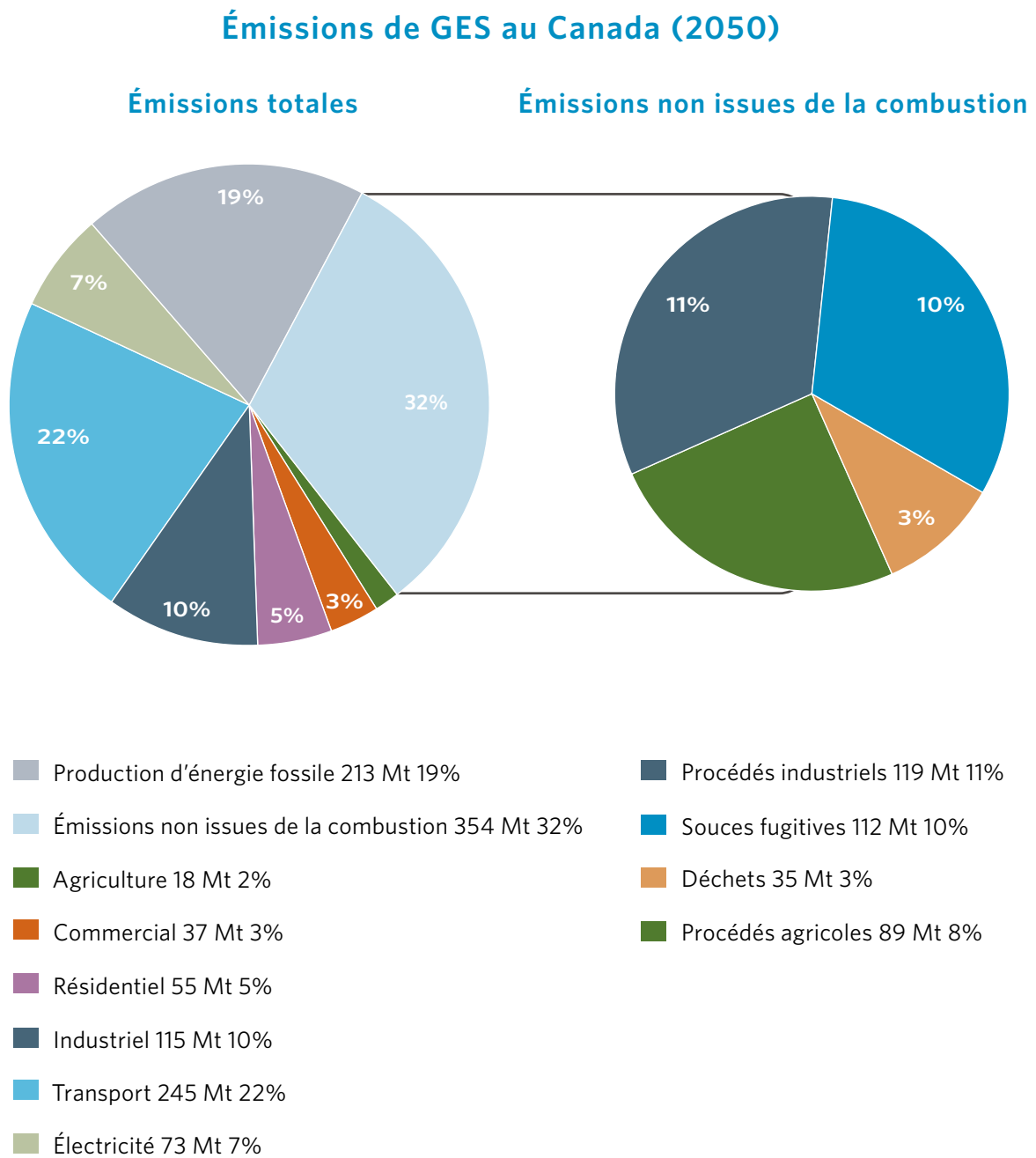


Figure 3 : Projections d'émissions de GES au Canada en 2050 — Scénario de référence : 1109 MT

Des informations supplémentaires relatives aux résultats du scénario 8a sont présentées à la figure 6. Les observations les plus pertinentes sont :

- i. Une réduction progressive des émissions dans les cinq secteurs de consommation finale (résidentiel, commercial, industriel, des transports et agricole) pour l'ensemble de la période allant de 2011 à 2050.
- ii. Une décarbonisation rapide de l'approvisionnement en électricité; ce secteur étant entièrement décarbonisé à partir de 2030.
- iii. En 2050, les trois secteurs qui produisent encore une importante quantité d'émissions sont les transports, les industries et la production de combustibles fossiles. La satisfaction de la demande dans certains secteurs repose toujours sur la consommation de combustibles fossiles comme la production de carburant avion, le transport de marchandises par camions lourds, le transport ferroviaire et aérien, principalement en raison des contraintes sur l'approvisionnement en matières premières pour la production de biocarburants. Le remplacement de carburants polluants est également limité dans les secteurs industriels et celui de la production de combustibles fossiles.

Les résultats équivalents pour le scénario 8 sont présentés à la figure 5. Dans ce cas, la plus importante cible de réduction des émissions issues de la combustion est de 60 pour cent par rapport à 1990, ce qui se traduit par un objectif de 170 Mt en 2050. Les prémisses à la base de ce scénario sont

identiques à celles du scénario 8a, sauf que les projections de la production et des exportations de combustibles fossiles proviennent de l'ONÉ et sont beaucoup plus élevées. Les tendances générales observées pour le scénario 8a s'appliquent également au scénario 8.

Plusieurs observations découlant de l'analyse des résultats de la figure 4 méritent d'être mentionnées. Bien qu'il y ait une demande croissante pour les services énergétiques entre 2011 et 2050, la consommation totale d'énergie en 2050 est sensiblement la même qu'en 2011. Deux principales raisons expliquent cette tendance : l'amélioration continue de l'efficacité énergétique, entraînée par les coûts de réduction croissants des cibles de réduction de plus en plus strictes, ainsi que le remplacement des moteurs à combustion interne par des moteurs électriques pour la force motrice, principalement dans le secteur des transports. Les efficacités de conversion pour les moteurs électriques sont généralement de trois à quatre fois supérieures à celles des technologies de combustion, avec des réductions équivalentes de la consommation énergétique.

Le potentiel de réduction des émissions non issues de la combustion a été analysé de manière qualitative. Ces émissions devraient augmenter de 164 Mt en 1990 à 232 Mt en 2050 selon le scénario 8a. En comparaison, ces émissions augmenteraient à 354 Mt selon le scénario de référence. Les résultats du scénario le plus ambitieux (scénario 8a) suggèrent des progrès significatifs quant aux niveaux de réduction des émissions de GES, mais toujours en deçà de la cible de 80 pour cent. L'atteinte de cette

cible nécessitera la mise en œuvre de stratégies impliquant des émissions négatives nettes bien avant 2050. Cela pourrait inclure la séquestration des GES avec le boisement et le reboisement, en plus de la production d'électricité à partir de bioénergies avec CSC et la mise en œuvre d'un vaste programme de récolte des produits du bois.

Les résultats présentés aux figures 4 à 6 comprennent l'adoption d'importantes mesures de conservation d'énergie et d'efficacité énergétique, lesquelles sont parmi les options les moins coûteuses (dont plusieurs ont un coût négatif) pour réduire les émissions de GES issues de la combustion. Par exemple, les mesures de conservation d'énergie permettent de réduire une importante proportion de la demande future pour le chauffage de l'espace dans le secteur commercial - jusqu'à 60 pour cent en 2050 selon le scénario (et jusqu'à 40 pour cent dans le secteur résidentiel).

Résultats à court terme

Les résultats comparatifs pour la réduction des émissions issues de la combustion entre 1990 et 2030, selon le scénario 8a, sont présentés à la figure 7. Ces émissions ont augmenté de 425 Mt en 1990 à 503 Mt en 2010. En l'absence d'une action concertée pour les réduire, les projections du modèle indiquent une augmentation des émissions à 618 Mt en 2030. Si l'on considère le scénario de réduction le plus ambitieux (scénario 8a), les émissions passent de 503 Mt en 2010 à 335 Mt en 2030, ce qui correspond à une réduction de 46 pour cent en 2030 par rapport au scénario de référence selon lequel les émissions atteignent 618 Mt.

Les principaux changements observés pour la période allant de 2011 à 2030 comprennent :

- La réduction progressive de la consommation de combustibles fossiles et l'utilisation croissante de l'électricité ainsi que de la biomasse et des biocarburants, dans les cinq secteurs de consommation finale, y compris :
 - L'augmentation de la consommation d'électricité et des biocarburants dans le secteur des transports de trois pour cent en 2011 à 18 pour cent en 2030.
 - L'augmentation de la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel de 38 pour cent en 2011 à 57 pour cent en 2030, avec une utilisation accrue des chaudières électriques, chauffe-eau électriques, plinthes et pompes à chaleur alimentés à l'électricité.
- L'augmentation de la production d'électricité de 45 pour cent entre 2011 et 2030, comparativement à une augmentation de 18 pour cent dans le scénario 1.
- La décarbonisation rapide de l'approvisionnement en électricité, y compris :
 - Une augmentation de 76 pour cent de la production d'hydroélectricité, dont la proportion dans la production totale d'électricité augmente de 62 pour cent en 2011 à 75 pour cent en 2030.
 - Une production d'électricité à partir des énergies renouvelables intermittentes (principalement éolienne) de 3,5 fois plus élevée, dont la proportion dans la production totale passe de trois pour cent en 2011 à six pour cent en 2030.
 - Une réduction de 48 pour cent de la production par les centrales thermiques conventionnelles, dont la proportion dans la production totale décline de 20 pour cent en 2011 à sept pour cent en 2030.
 - La pénétration de la production d'électricité à base de biomasse combinée avec la CUSC d'ici 2030, produisant des émissions négatives nettes. Il en résulte une réduction des émissions issues de la combustion de 87 Mt en 2011 à 1 Mt en 2030 pour le secteur de la production d'électricité.
- Des améliorations supplémentaires en termes d'efficacité énergétique grâce à la pénétration

Résumé du projet

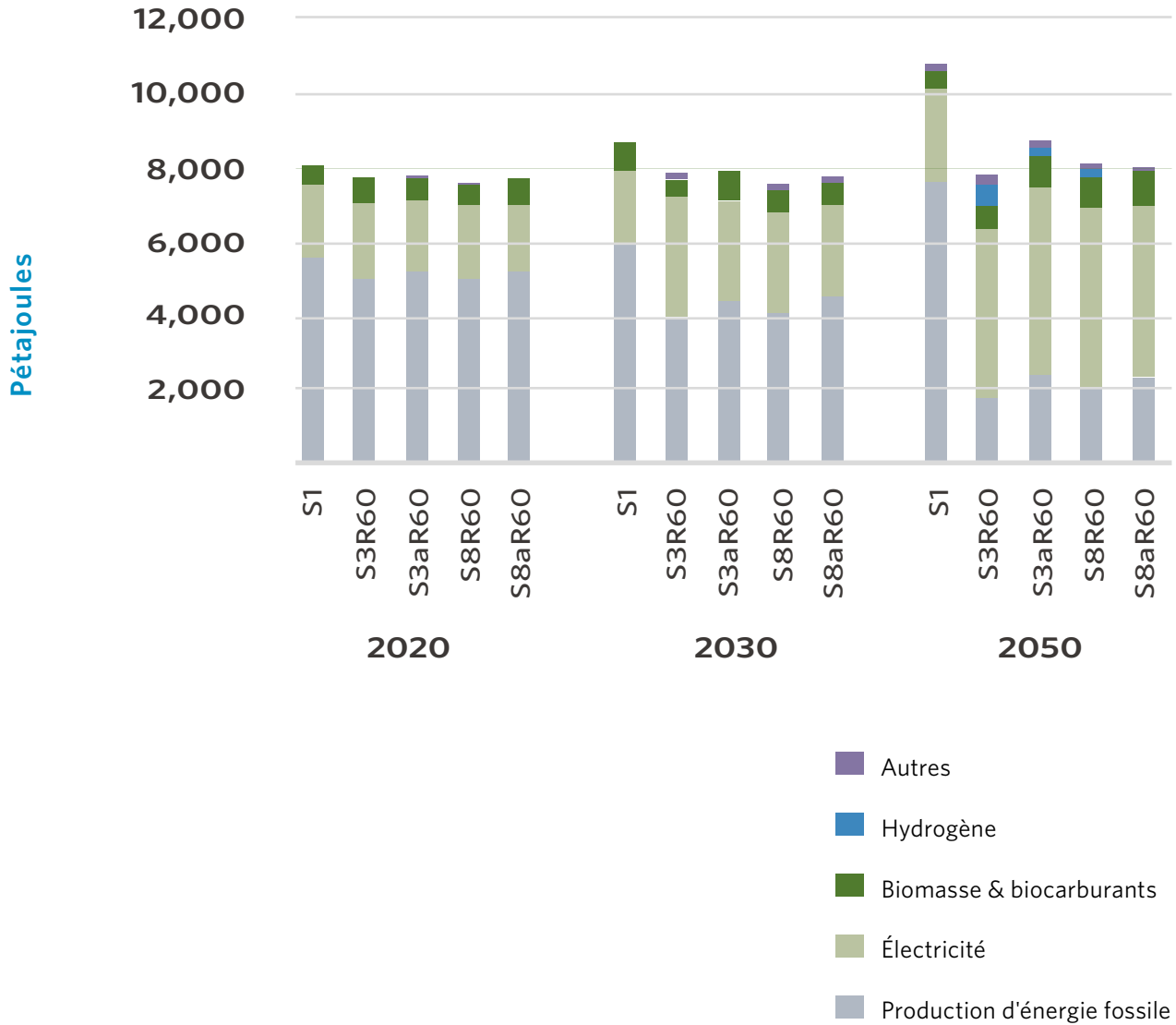


Figure 4 : Consommation d'énergie finale

Remarque : le scénario 1 (S1) est le scénario de référence sans cible de réduction des émissions de GES. Le scénario S3 inclut une cible de réduction des émissions issues de la combustion de 60 pour cent d'ici 2050, à partir de technologies éprouvées et de projections élevées de production et d'exportation de combustibles fossiles. Le scénario S3a est identique au scénario S3, à l'exception des projections plus faibles et réduites pour la production et de l'exportation de combustibles fossiles. Les scénarios 8 et 8a incluent une cible de réduction des émissions de 60 pour cent et incluent des technologies prometteuses, mais non disponibles à l'échelle commerciale, comme les biocarburants de deuxième génération.

Millions de tonnes de dioxyde de carbone équivalent

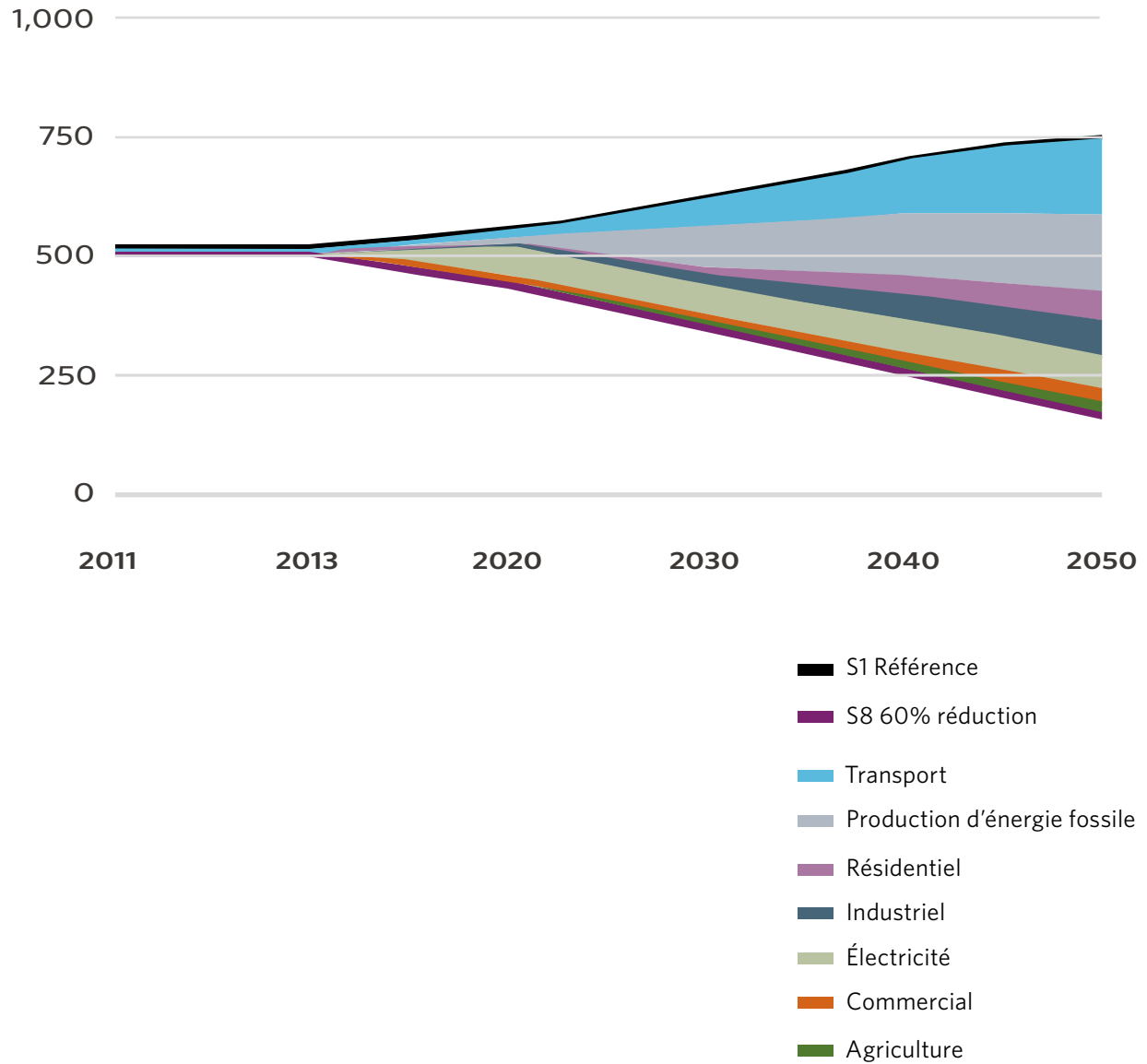


Figure 5a: La réduction des émissions issues de la combustion pour le scénario 8 par rapport au scénario 1 (scénario de référence) afin d'atteindre la cible de 60 pour cent d'ici 2050, par rapport à 1990.

Millions de tonnes de dioxyde de carbone équivalent

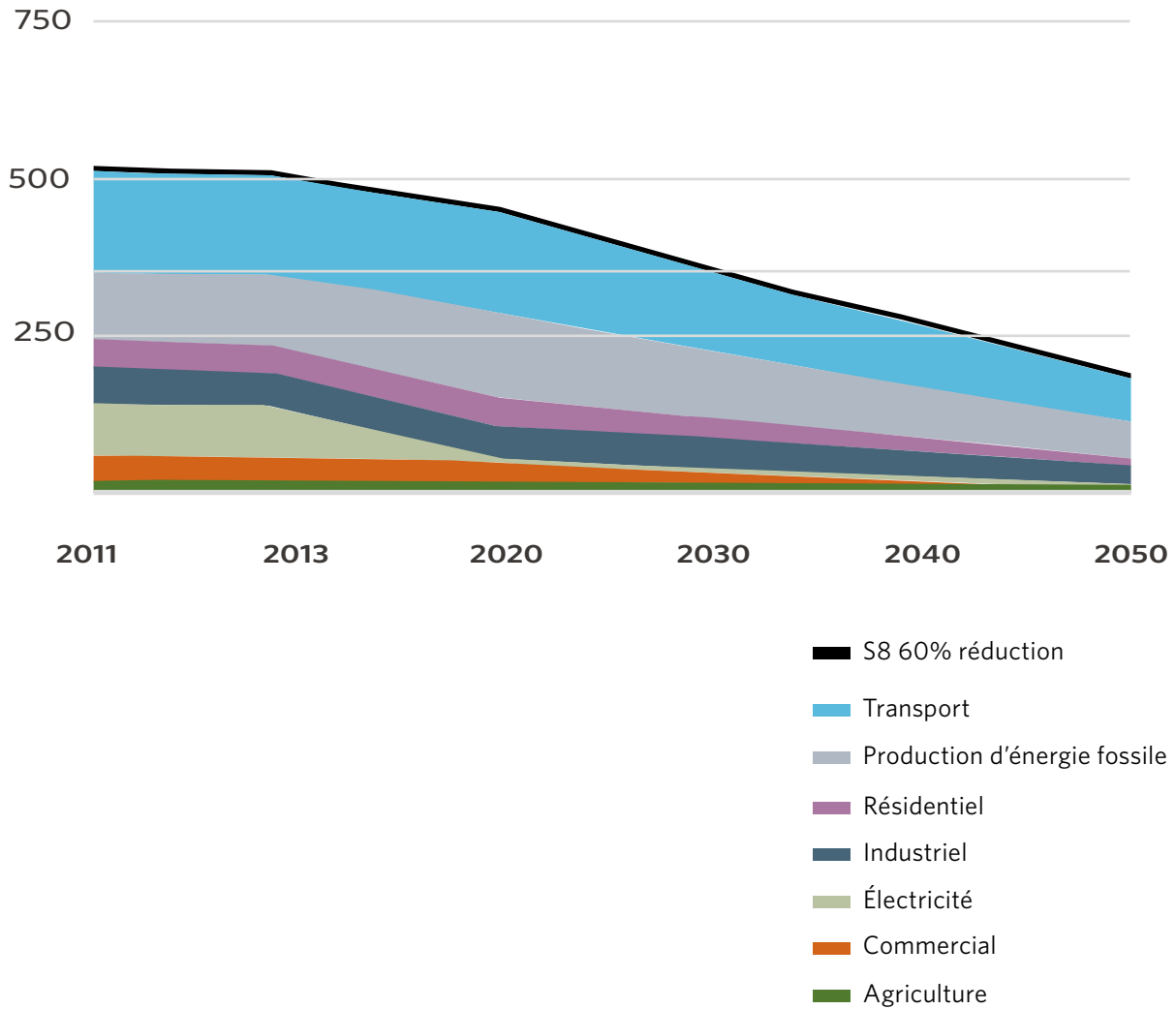


Figure 5b: Les émissions totales projetées par secteur pour répondre à une cible de réduction des émissions issues de la combustion de 60 pour cent d'ici 2050, par rapport à 1990.

Millions de tonnes de dioxyde de carbone équivalent

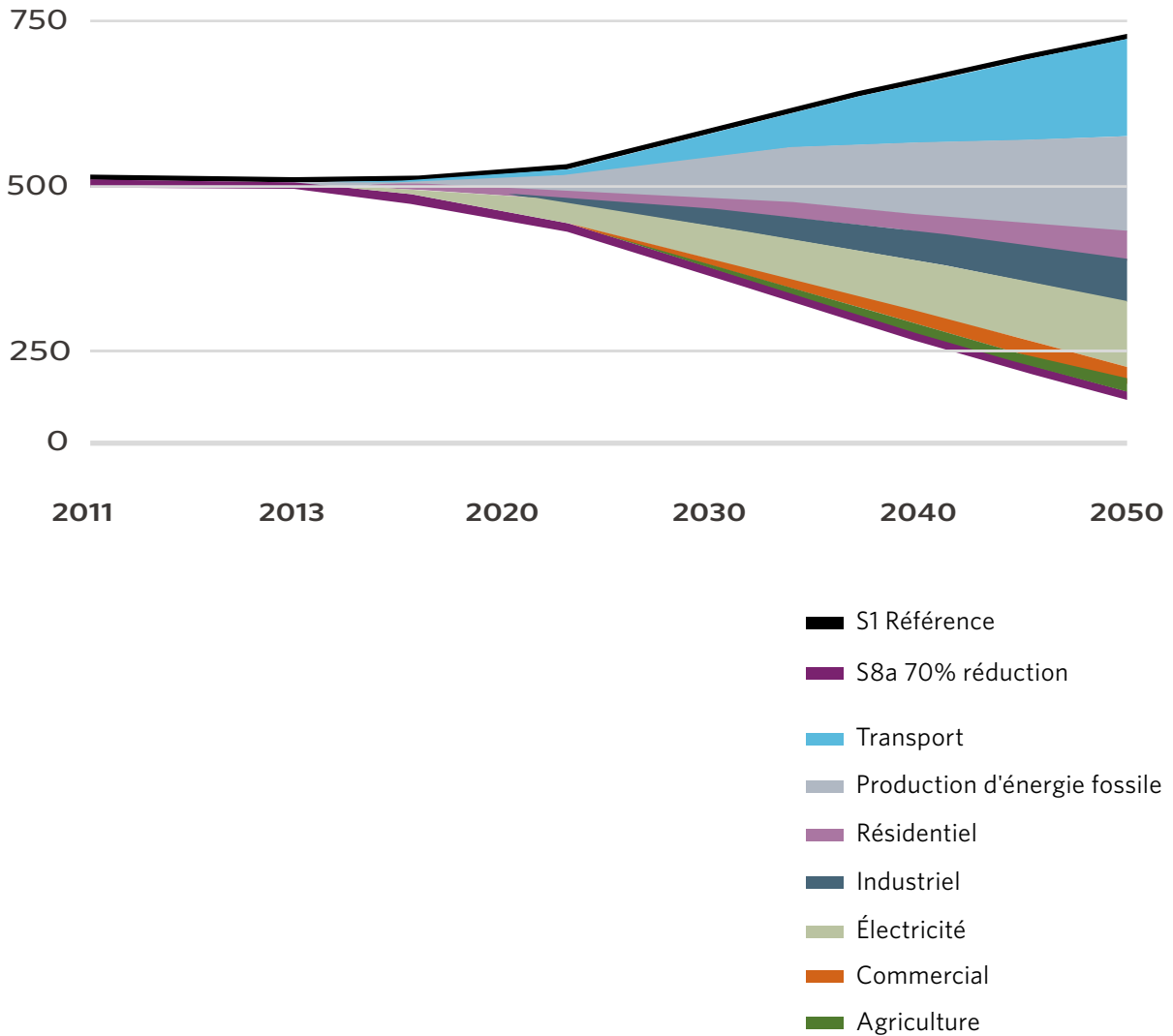


Figure 6a: La réduction des émissions issues de la combustion pour le scénario 8a par rapport au scénario 1a (sans contraintes d'émissions de GES) afin d'atteindre une cible de 70 pour cent d'ici 2050, par rapport à 1990.

Millions de tonnes de dioxyde de carbone équivalent

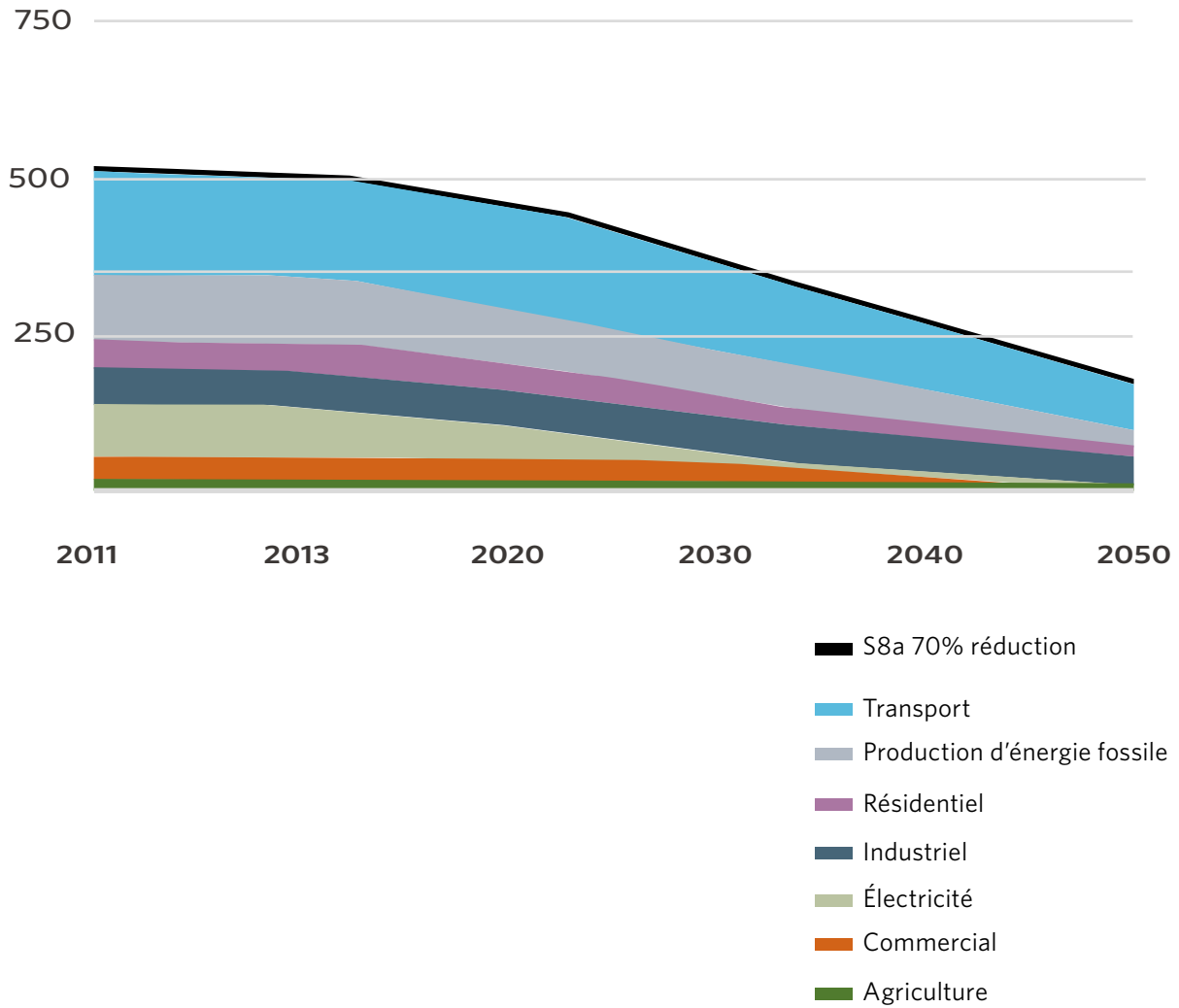


Figure 6b: Les émissions totales projetées par secteur pour répondre à une cible de réduction des émissions issues de la combustion de 70 pour cent d'ici 2050, par rapport à 1990.

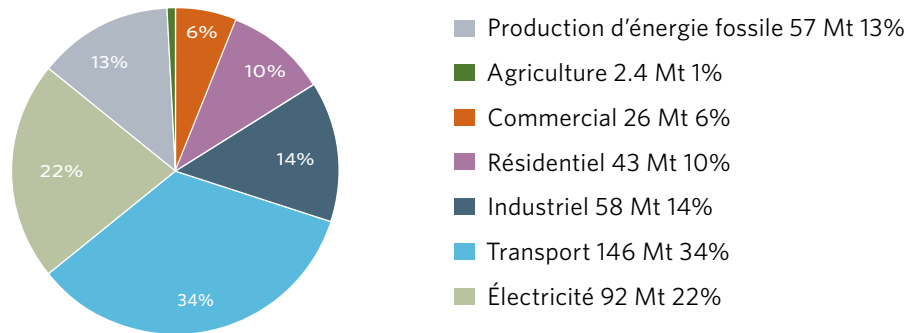
des mesures les moins coûteuses dans tous les secteurs.

Le travail de modélisation a permis de déterminer le coût marginal de réduction par tonne de CO₂-équivalent en fonction des limites imposées sur les émissions de GES. Les résultats des scénarios 8 et 8a sont présentés à la figure 8 pour une réduction des émissions de GES de 60 pour cent. Ces coûts dépendent évidemment du scénario analysé, mais excèdent généralement 100 \$ par tonne de CO₂-équivalent pour les émissions issues de la combustion dès les premières années, pour atteindre plusieurs centaines de dollars par tonne (dollars canadiens de 2011) à plus long terme.

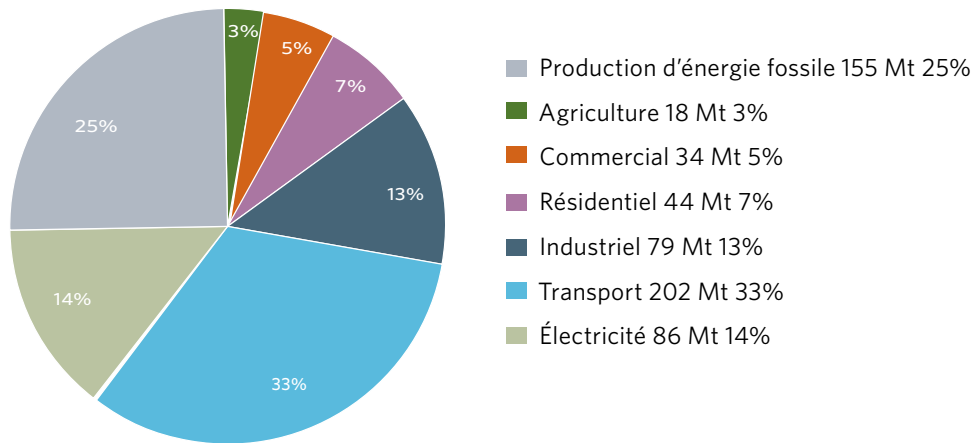
La figure 8 montre que les coûts marginaux augmentent de près du double dans le scénario 8 comparativement au scénario 8a. Cette tendance reflète les coûts de réduction énormes associés au maintien de la production de combustibles fossiles, selon les prévisions de l'ONÉ, une hypothèse intégrée dans les scénarios avec « production élevée de combustibles fossiles », comme le scénario 8. Le maintien de la production de ces combustibles fossiles ne sera pas économiquement viable à moins d'une percée importante dans le développement d'options de réduction des émissions à faible coût dans la chaîne d'approvisionnement.

Résumé du projet

1990 | Total 425 MT



2030 in S1a | Total 618 MT



2030 in S8a (70% reduction) | Total 335 MT

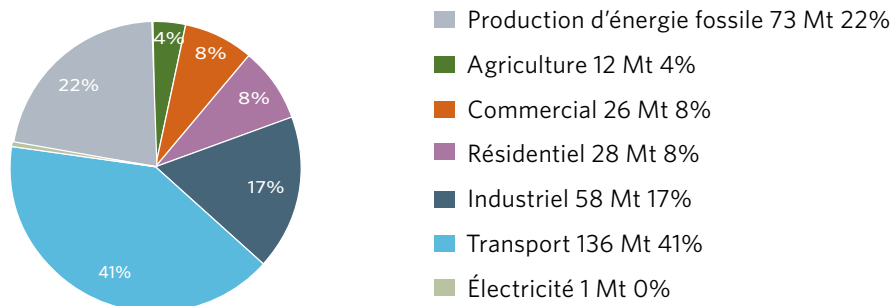


Figure 7 : Émissions issues de la combustion en 1990 et projetées à l'horizon 2030 dans les scénarios avec faible production de combustibles fossiles - scénarios 1a et 8a

Résumé du projet

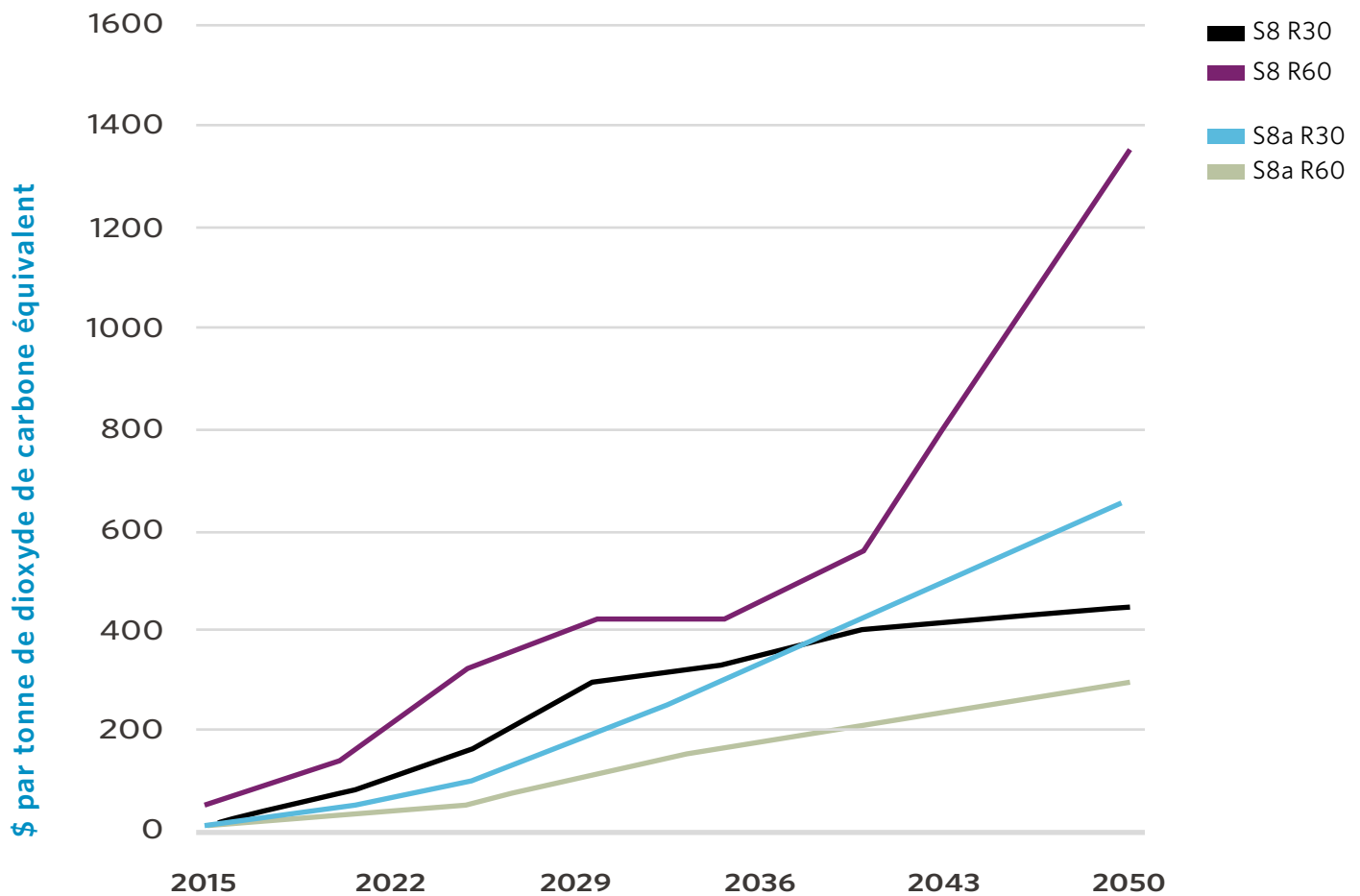


Figure 8 : Les coûts marginaux de la réduction des émissions pour les scénarios 8 et 8a

Remarque : les scénarios 8 et 8a incluent les technologies conventionnelles, ainsi que des technologies prometteuses, mais non disponibles à l'échelle commerciale, comme la production de biocarburants de deuxième génération, les centrales thermiques avec CSC, les centrales alimentées aux bioénergies avec CSC, ainsi que la possibilité de construire de nouvelles grandes centrales hydroélectriques en Colombie-Britannique. Le scénario 8 est basé sur des niveaux de production de combustibles fossiles compatibles avec les projections de l'ONÉ et prolongé à l'horizon 2050. Le scénario 8a repose sur la possibilité de réduire l'exportation de combustibles fossiles dans les mêmes proportions que pour la demande domestique. Les résultats sont présentés pour les niveaux de réduction des émissions issues de la combustion de 30 pour cent et 60 pour cent d'ici 2050, par rapport à 1990.

3. Priorités d'action

Le projet met en évidence les changements qui seront nécessaires du point de vue des infrastructures énergétiques actuelles et futures pour réaliser des réductions d'émissions significatives au Canada. Des profils d'évolution prometteurs pour un avenir faible en carbone sont identifiés. Dans les 20 premières années de la modélisation (2010 à 2030), les résultats de l'analyse font émerger un certain nombre de possibilités qui mèneraient à des progrès significatifs vers la réalisation des objectifs de réduction des émissions de GES si elles étaient appliquées aujourd'hui.

- La réduction de la dépendance aux combustibles fossiles pour les secteurs de consommation finale, principalement par le biais d'une transition vers une plus grande utilisation d'électricité provenant de sources à faibles émissions de carbone ou de biocarburants. Cela inclut, par exemple, le remplacement de la combustion de combustibles fossiles pour le chauffage de l'espace et de l'eau et pour la production de vapeur dans les secteurs résidentiel et commercial, par des chaudières électriques, plinthes électriques, pompes à chaleur à air ou géothermiques, ainsi l'utilisation accrue du chauffage solaire ambiant. Dans le secteur des transports, les changements majeurs suggérés par la modélisation concernent l'utilisation de véhicules électriques pour les particuliers et les services de proximité, l'utilisation de biocarburants pour le transport lourd de marchandises, et l'électrification de certaines portions du transport ferroviaire.

Dans les secteurs industriels et agricoles, les principales opportunités impliquent une plus grande utilisation de l'électricité et des biocarburants.

- La réduction de la dépendance aux combustibles fossiles pour la production d'électricité. Tel qu'indiqué dans l'analyse, la décarbonisation de l'électricité constitue l'une des options les plus efficaces économiquement pour réduire les émissions issues de la combustion. Concrètement, cela implique le remplacement des centrales thermiques conventionnelles (surtout, celles fonctionnant au charbon et au gaz naturel) par des installations à faibles émissions et l'ajout de nouvelles interconnexions à haute tension entre les juridictions. Le mix nécessaire pour fournir les besoins d'approvisionnement en électricité, selon qu'il soit composé d'énergie éolienne, nucléaire et hydroélectrique ou autres, varie en fonction des scénarios et dépend ultimement de plusieurs autres facteurs non considérés de manière spécifique dans l'analyse.
- L'augmentation des possibilités de transferts d'électricité à partir des provinces et territoires qui ont une abondance de capacité hydroélectrique et de stockage d'énergie dans les autres juridictions.
- Le maintien d'une capacité suffisante en infrastructure pour l'approvisionnement en électricité, afin de pouvoir répondre à la demande croissante d'électrification dans les secteurs de consommation finale. Cela implique non seulement l'expansion de

l'infrastructure traditionnelle non émettrice, (énergie hydroélectrique, nucléaire, éolienne, etc.) mais de voir à ce que cette expansion à long terme inclut une capacité de production hydroélectrique additionnelle aux sites futurs et existants, les énergies renouvelables intermittentes avec le renforcement correspondant des réseaux, le développement des sites de stockage par pompage, la combinaison de la bioénergie avec la CSC pour produire des émissions négatives nettes et le renforcement du rôle des services publics de distribution pour une gestion intégrée de l'énergie à l'échelle locale.

- La mise en œuvre d'un vaste programme de conservation d'énergie et d'efficacité énergétique, en particulier lorsque ces mesures visent directement la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles. Les gains d'efficacité énergétique les plus importants viendront avec la modification des modes de vie, par exemple. Cela implique de changer la façon dont nous développons les zones urbaines et nos façons d'y vivre, et de concevoir des bâtiments, des infrastructures de transport et des modes de vie plus efficaces.
- La mise en œuvre d'un programme national coordonné pour la tarification du carbone, avec des règlements et des incitatifs qui encouragent les initiatives et les technologies innovantes nécessaires pour relever le défi de la réduction des GES.

Ces mesures (et d'autres) vont définir la trajectoire d'avenir pour un Canada à faibles émissions de

carbone à l'horizon 2050. Les résultats du projet présentent un aperçu de ce à quoi l'avenir pourrait ressembler. Un avenir où nos besoins en énergie sont satisfaits par une structure d'approvisionnement énergétique à faibles émissions et composée d'une variété d'installations de production électrique raccordées à un réseau national solide et intelligent. Les flux d'électricité ne sont pas limités par les frontières provinciales et territoriales, et des accords sont en place afin d'assurer une utilisation optimale de l'électricité et de la capacité de stockage.

En 2050, l'utilisation de l'électricité est omniprésente dans la satisfaction des besoins énergétiques dans les maisons, bureaux et usines. Les ménages conduisent des voitures électriques ou font usage des réseaux de transport en commun électriques élargis, les camions lourds sont alimentés par des biocarburants (ou autres nouvelles technologies à faibles émissions de carbone) pour le transport des marchandises, et les options de remplacement du kérosène par du carburant biojet deviennent commercialement viables. Les techniques de capture et stockage du carbone font en sorte que les émissions de GES issues de la combustion de combustibles fossiles sont contenues. Les gens sont conscients de la quantité d'énergie qu'ils consomment et utilisent l'énergie de manière compatible avec une culture de conservation.

4. Défis à relever

Un certain nombre de défis fondamentaux sont apparus évidents pendant la réalisation du projet. Les solutions requises pour relever ces défis ne

sont pas nécessairement disponibles aujourd'hui. Cependant, si ces défis ne sont pas relevés, il sera particulièrement difficile de parvenir à des réductions significatives des émissions de GES. Des efforts de recherche et d'évaluation, ainsi que des progrès sont donc nécessaires dans les domaines suivants :

Production de biomasse/biocarburants.

L'analyse montre que l'utilisation des biocarburants est multipliée par quatre à l'horizon 2050, principalement en raison de l'augmentation de la demande dans le secteur des transports par camions lourds et par trains. Des travaux de recherche sont nécessaires pour permettre le développement et le déploiement des biocarburants de deuxième génération, notamment du biodiesel.

Transport routier lourd et ferroviaire. Les principaux défis à relever d'ici 2050 pour atteindre des niveaux de réduction plus élevés concernent la diminution des coûts de réduction pour le transport de marchandises par camions lourds et le transport ferroviaire, ainsi que la réduction des contraintes d'approvisionnement en biomasse pour la production de biocarburants. Une évaluation plus approfondie est nécessaire quant aux options existantes et futures pour la production de carburants à coûts compétitifs et à faibles émissions pour le transport de marchandises par camions lourds, mais aussi pour le transport ferroviaire.

Émissions industrielles. La prise en compte d'options pour la réduction des émissions industrielles issues et non issues de la combustion nécessite davantage de recherches et une

analyse plus approfondie. Il est nécessaire de définir des options supplémentaires pour réduire les émissions issues de la combustion dans le secteur industriel. Les options pour réduire les émissions des procédés industriels comprennent le remplacement de combustibles, la conservation, les changements technologiques, ainsi que la capture, l'utilisation et le stockage du carbone.

Production de pétrole et de gaz naturel, valorisation et raffinage.

L'extraction, la collecte, la valorisation et le raffinage sont des activités qui génèrent des émissions de GES. En plus du remplacement des combustibles fossiles, les émissions de GES peuvent être réduites grâce à des changements technologiques, notamment pour l'extraction in-situ, la valorisation du bitume lourd et le raffinage subséquent.

Émissions fugitives. Le gaz naturel qui s'échappe lors de l'extraction du pétrole et du gaz, du raffinage, du transport et de la distribution est composé d'environ 75 à 95 pour cent de méthane, un GES beaucoup plus nocif que le CO₂. Un programme complet de collecte et d'analyse des données est nécessaire pour évaluer toute l'ampleur des émissions fugitives et identifier des mesures d'atténuation.

Formes de développement urbain. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour évaluer dans quelle mesure une meilleure planification urbaine pourrait réduire les coûts globaux associés aux infrastructures et aux émissions de GES correspondantes. Les approches prometteuses comprennent les transports en commun électrifiés, la cogénération, la génération décentralisée, le chauffage urbain, la valorisation

énergétique des déchets et le stockage d'énergie à l'échelle locale.

Émissions négatives nettes. Deux options possibles ont été considérées dans l'étude pour extraire le CO₂ de l'atmosphère : la production d'électricité à partir de biomasse avec CSC, y compris l'utilisation de CO₂ pour améliorer les taux de récupération du pétrole et l'utilisation accrue des produits du bois pour la rétention du carbone dans les bâtiments. Les résultats de l'étude ont montré que les avantages de la combinaison de la biomasse et du CSC seraient contraints par la disponibilité de la biomasse comme matière première. La rétention du carbone dans les bâtiments pourrait potentiellement produire un crédit de CO₂ de 40 Mt en 2050.

Cette liste de sujets nécessitant une étude plus approfondie n'est pas exhaustive; elle met plutôt en lumière des options additionnelles qui sont essentielles pour atteindre la cible de réduction de 80 pour cent. Des travaux sont déjà en cours pour mieux documenter ces options dans certaines régions du Canada et dans d'autres pays.

5. Conclusions

Le projet fournit une analyse novatrice et rigoureuse du potentiel existant pour atteindre des cibles ambitieuses de réduction des émissions canadiennes de GES. L'analyse a permis d'identifier des options de réduction prometteuses et réalisables pour le Canada, ainsi que des profils d'évolution à faibles émissions de GES, et de cibler

les moyens les moins coûteux pour atteindre les objectifs de réduction des émissions issues de la combustion à moindre coût. Les profils d'évolution à faibles émissions de GES les plus prometteurs et réalisables pour le Canada, ainsi que les options de réduction les moins coûteuses pour atteindre les objectifs, ont pu être identifiés. Les profils d'évolution menant aux réductions les plus ambitieuses sont complexes et impliquent d'importantes mesures de conservation d'énergie et d'efficacité énergétique, une restructuration majeure des infrastructures énergétiques, le déploiement de technologies prometteuses, mais pas encore disponibles à l'échelle commerciale, ainsi que des changements fondamentaux dans la manière dont les gens pensent et consomment l'énergie.

Les différentes options qui doivent être mises en œuvre pour réduire considérablement les émissions de GES (décarbonisation de l'approvisionnement en électricité, augmentation de la production d'électricité à partir de sources intermittentes, augmentation de l'utilisation de la biomasse) nécessitent que des développements importants aient lieu d'ici 2050; cela représente un défi énorme. Les résultats du projet jettent un doute considérable sur la disponibilité des technologies et des infrastructures connexes au moment opportun. Le plus grand défi n'est cependant pas d'ordre technique ou même économique, mais davantage politique et social/culturel. La réalisation de réductions d'émissions ambitieuses aura un impact sur tous les Canadiens et implique nécessairement des changements dans les modes de vie, dont certains ont été partiellement étudiés dans le scénario 4 qui compte des hypothèses sur l'amélioration des

formes de développement urbain. Les résultats pointent aussi vers la nécessité de mettre en œuvre une politique de tarification du carbone et une réglementation connexe. Les transformations sociales nécessaires à la réduction des émissions de GES de 80 pour cent et plus devront être soutenues par un leadership de tous les secteurs de la société, y compris les gouvernements, les industries et les organisations sans but lucratif. De plus, les Canadiens devront développer une vision globale et partagée des systèmes énergétiques et des modes de vie à faibles émissions de carbone.

Le défi ne vient pas sans opportunité.

Le Canada est considéré comme l'un des rares pays pouvant produire de l'électricité propre à un coût concurrentiel à l'échelle mondiale. Des opportunités se présenteront pour la fabrication de produits à forte intensité énergétique pour l'exportation, en particulier pour les juridictions canadiennes qui peuvent produire de l'électricité propre à faible coût. Les exportations d'électricité vers les États-Unis pourraient augmenter et inclure la vente d'une « capacité de base » à certains territoires américains voisins.

Avec l'augmentation du rôle potentiel de la biomasse et des biocarburants, les secteurs forestier et agricole se retrouveront face à des opportunités dans la fourniture de commodités énergétiques (biomasse et biocarburants de première et deuxième générations) et dans la rétention du carbone, y compris le reboisement, l'amélioration de la gestion des forêts et la production de produits forestiers. Pour les secteurs impliqués dans la production, la

transformation et le transport des combustibles fossiles, les opportunités s'ouvriront pour ceux qui trouveront des façons de les utiliser en générant très peu d'émissions par l'entremise de techniques efficaces pour la capture, l'utilisation et le stockage du carbone ou pour la production de produits de stockage du carbone à faible entretien.

Les résultats de cette étude fournissent des indications utiles sur la position unique du Canada en matière d'options de réduction des GES et peuvent servir à éclairer un dialogue national sur les stratégies nécessaires pour atteindre des cibles ambitieuses de réduction d'émissions de GES. Notre avenir sera déterminé par les choix que nous faisons aujourd'hui en matière d'utilisation de l'énergie et de réduction des émissions de GES. Une discussion franche et ouverte peut ainsi mener à des progrès significatifs en ce sens et renforcer l'idée que les divers acteurs du Canada puissent travailler en harmonie à l'échelle nationale et avec les autres pays pour rétablir la santé et la résilience du système climatique mondial.